

На правах рукописи

**Оводков Михаил Владимирович**

**МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ И ГРАФИЧЕСКОГО  
ОТБРАЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ,  
ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ АТМОСФЕРЫ**

**Специальность 25.00.36 – «Геоэкология»**

**Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук**

**Москва 2006**

Работа выполнена в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) на кафедре прикладной экологии.

Научный руководитель - кандидат военных наук, профессор Буров Владимир Николаевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Разяпов Анвар Закирович

доктор геолого-минералогических наук, профессор Зверев Анатолий

Тихонович

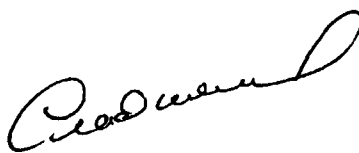
Ведущая организация – Академия гражданской защиты МЧС России

Защита состоится \_\_\_\_\_ 2006 г. в \_\_\_\_ ч. \_\_\_\_ мин. на заседании диссертационного совета Д 212.143.02 при Московском государственном университете геодезии и картографии по адресу: 105064, Москва, Гороховский пер., дом 4, ауд. 321.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета геодезии и картографии.

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 2006 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета



Сладкопевцев С.А.

2006А  
6272

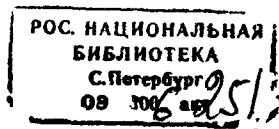
## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Качество атмосферы на обширных территориях Российской Федерации характеризуется широким спектром негативных оценок. Значительное количество населения проживает на территориях, подверженных хроническому воздействию широкого ряда атмосферных поллютантов, обладающих общетоксическим и канцерогенным механизмом биологического воздействия. Техногенные выбросы в атмосферу, в том числе, от основных источников загрязнения – промышленности и автотранспорта, продолжают неуклонно расти, обуславливая повышение рисков возникновения негативных эффектов для здоровья населения и качества природной среды.

Современная система контроля качества атмосферного воздуха не позволяет решать задачи идентификации и контроля зон хронического загрязнения атмосферы на больших территориях, сопоставимых по масштабу с областями, федеральными округами и прочими масштабными территориальными единицами. Таким образом, огромные территории страны с многомиллионным населением, содержащие крупнейшие производства, фактически, остаются вне системы контроля качества атмосферного воздуха, что, соответственно, не позволяет проводить качественную оценку опасности воздействия хронических техногенных выбросов на здоровье населения, контролировать и прогнозировать ущербы природным и техногенным объектам и системам, вести мониторинг показателей экологических рисков, являющихся сегодня наиболее эффективным средством оценки и прогностического моделирования опасности, обусловленной влиянием загрязнённой окружающей среды на состояние биологических объектов и систем, в том числе человека.

Кроме того, существуют различные подходы к моделированию экологических рисков, к определению содержания рисковых показателей, к установлению степеней приемлемости величин рисков и пр.

Процесс моделирования пространственного распределения значений экологических рисков на обширных территориях связан с обработкой больших объёмов информации и требует нового методического подхода к применению



космических дистанционных технологий, математических моделей и программных средств. В современной практике данный вопрос не нашёл решения на надлежащем теоретическом и технологическом уровне. Также, при очевидной географической и, в частности, картографической специфике проблемы, отсутствуют эффективные механизмы применения геоинформационных технологий, обеспечивающих визуализацию и поддержку анализа пространственно локализованных данных, каковыми являются показатели экологического риска. Таким образом, отсутствует единый технологический подход к автоматизации процесса моделирования и графического отображения экологических рисков, обусловленных загрязнением атмосферы больших территорий.

На основании приведённых выше положений можно сделать заключение о том, что сегодня на надлежащем уровне не решена проблема, связанная с разработкой методического подхода к моделированию экологических рисков, обусловленных загрязнением атмосферы на обширных территориях и представлению рискованных показателей в легковоспринимаемой форме графического отображения распространённого электронного формата, обеспечивающего качественный анализ и поддержку в принятии управленческих решений относительно качества атмосферы на обширных территориях.

Данная ситуация, имеющая место сегодня, не соответствует провозглашённой стратегии устойчивого развития, предполагающей фиксирование и прогнозирование техногенных опасностей и принятие мер, направленных на снижение рисков для населения и природной среды до значений установленных приемлемых уровней.

В связи с вышесказанным, тема настоящей диссертационной работы представляется актуальной и своевременной, хранящей потенциал для применения в выработке управленческих решений относительно экологических проблем, обусловленных загрязнением атмосферы на больших территориях.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является решение актуальной задачи, заключающейся в разработке универсальной методики моделирования и графического отображения экологических рисков для

здоровья, обусловленных загрязнением атмосферы на больших территориях. Поставленная цель достигается путём последовательного решения следующего комплекса задач:

1. Установление ключевых пространственно-временных характеристик современных процессов загрязнения атмосферы.
2. Анализ возможностей методов дистанционного зондирования и коммуникационных систем на предмет их использования для моделирования экологических рисков, обусловленных загрязнением атмосферы на больших территориях.
3. Разработка универсальной методики моделирования и графического отображения экологических рисков для здоровья, обусловленных загрязнением атмосферы на больших территориях, ориентированной на работу с данными дистанционного зондирования загрязнения атмосферы.
4. Разработка технологии моделирования и графического отображения экологических рисков для здоровья, обусловленных загрязнением атмосферы на больших территориях.

Таким образом, в настоящей диссертационной работе решается конкретная актуальная задача геоэкологии, связанная с обеспечением экологической безопасности и устойчивого развития на обширных территориях Российской Федерации.

**Методы исследования.** В работе применены различные методы исследования, основными из которых являются:

- анализ и сравнительная оценка качества атмосферного воздуха на территориях России за период 1998 – 2004 гг.;
- математическое моделирование процессов загрязнения атмосферы и экологических рисков, обусловленных загрязнением атмосферы;
- дистанционные технологии для идентификации характеристик загрязнения атмосферы;
- информационные и компьютерные технологии для моделирования и графического отображения экологических рисков и др.

**Исходные материалы диссертации.** В качестве исходных материалов диссертации использованы результаты научных исследований по ключевым направлениям изучаемой проблемы, нашедшие отражение в научных трудах экологов (В.Н. Буров, А.В. Садов, В.Н Крутько и др.), медиков и гигиенистов (С.М. Новиков, В.А. Кислицин, Ю.А. Рахманин, С.Л. Авалиани и др.), метеорологов (М.Е. Берлянд и др.), специалистов в области геоинформатики и картографии (Л.М. Бугаевский, А.М. Берлянт и др.).

Также использованы практические, в том числе программные, разработки лаборатории ГУ НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН (В.А. Кислицин), материалы Государственных докладов «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации» за 1998-2003 гг., информационные материалы Американского и Европейского космических агентств, а также другие источники, в том числе, результаты собственных исследований автора.

**Научная новизна.** Научная новизна исследований, проведённых в рамках настоящей диссертационной работы, заключается в разработке нового методического подхода к решению актуальной задачи моделирования и графического отображения экологических рисков для оценки экологической ситуации на больших территориях с использованием информационных и коммуникационных возможностей дистанционного зондирования. В том числе разработаны и обоснованы новые подходы к математической интерпретации и моделированию экологических рисков для здоровья, обусловленных воздействием на организм человека поллютантов, обладающих различными механизмами биологического воздействия. Также разработан технологический подход к автоматизации процесса решения поставленной задачи посредством применения программных решений.

**Практическое значение.** Разработанная методика моделирования и графического отображения экологических рисков для здоровья, обусловленных загрязнением атмосферы, может быть использована в качестве универсального инструмента поддержки принятия управленческих решений в области охраны

окружающей среды и здоровья населения на больших территориях, в том числе и в новых районах развития промышленности и освоения природных ресурсов.

Разработанная методика применения программных решений для моделирования и графического отображения экологических рисков для здоровья, обусловленных воздействием загрязнённой атмосферы способна, в рамках единого программного решения, автоматизировать основные расчётно-аналитические и расчётно-графические операции моделирования и графического отображения экологических рисков от загрязнения атмосферы и тем самым обеспечить оперативность исследований и доступность результатов исследований в области экологических рисков. Данная методика позволяет представить на рынок экологических услуг новый продукт в виде графико-аналитических показателей экологических рисков для здоровья, обусловленных хроническим воздействием загрязнённой атмосферы.

**Личный вклад автора.** Личный вклад автора в решение проблем, поднимаемых в работе, заключается в следующем:

- разработке методики моделирования и графического отображения экологических рисков и её представлении на IV Всероссийском научно-методическом семинаре «Экологически ориентированная учебно-исследовательская и практическая деятельность», проходившем 10-13 ноября 2004 г;
- подготовке докладов, отражающих основные результаты исследований, для ежегодных межвузовских и внутривузовских научно-практических конференциях, проводимых в МИИГАиК, посвящённых актуальным проблемам экологии и природопользования (2002-2005 гг.);
- анализе материалов практических работ, в том числе программных средств, в области моделирования процессов загрязнения атмосферы и моделирования рисков хронической интоксикации, накопленных в лаборатории оценки риска здоровью ГУ НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН, Государственном центре санитарного и эпидемиологического надзора (ГЦСЭН) и др. (2003-2005 гг.);

- разработке методических указаний «Графическое отображение зон загрязнения атмосферы», предназначенных для проведения практических занятий со студентами в рамках курса «Экология природопользования» (2004 г.);
- участия в составе аналитической инспекции качества атмосферного воздуха в мероприятиях по идентификации поллютантов, выбрасываемых в атмосферу предприятиями Москвы (2005 г.).

**Основные результаты, выносимые на защиту.** На защиту выносятся следующие результаты диссертационной работы:

1. Методика моделирования и графического отображения экологических рисков для здоровья, обусловленных загрязнением атмосферы, ориентированная на работу с данными дистанционного зондирования загрязнения атмосферы.
2. Технология моделирования и графического отображения экологических рисков для здоровья, обусловленных загрязнением атмосферы.
3. Результаты экспериментов практического применения методики моделирования и графического отображения экологических рисков для здоровья, обусловленных загрязнением атмосферы.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во введении дана общая постановка проблемы, обоснована её актуальность, сформулирована цель и определены задачи исследований, показана их новизна и практическая значимость, а так же сформулированы результаты работы, представляемые к защите.

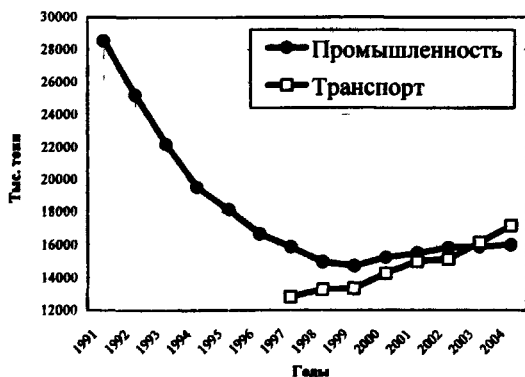
### **Глава 1. Идентификация характеристик загрязнения атмосферы**

По данным статистической отчётности после экономического спада 1991-1998 гг. наблюдается устойчивая тенденция повышения загрязнённости атмосферы на обширных территориях Российской Федерации (рис.1). К таким территориям относятся: Москва, Санкт-Петербург, Липецкая область, Кемеровская область, Челябинская область, Тульская область, Свердловская область, Самарская область, Ханты-Мансийский автономный округ, Оренбургская область, Удмуртская Республика и др. Общая площадь территорий РФ, загрязнённых

основными атмосферными поллютантами в опасных концентрациях может составлять до 500 тыс. км<sup>2</sup> с населением более 30 млн. чел. Такие территории квалифицируются как экологически неблагополучные, на которых проявляются различные рецидивы, обусловленные хроническим воздействием опасных атмосферных поллютантов на здоровье населения. В целом по стране, ежегодно вследствие проживания в зонах устойчивого загрязнения атмосферы преждевременно умирает более 40000 человек.

В настоящее время основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха на территории России вносят следующие отрасли: автотранспорт, теплоэнергетика, предприятия черной металлургии, нефтедобычи и нефтехимии, предприятия цветной металлургии и производство стройматериалов (рис 1). На долю этих отраслей приходится более 90% всех выбросов в атмосферу.

Доминирующими компонентами загрязнения являются: взвешенные вещества, диоксид азота, оксид углерода, диоксид серы, фенол, формальдегид, углеводороды, свинец, обладающие общетоксическим и канцерогенным механизмами воздействия на биологические объекты и системы, формирующие санитарно-гигиеническую обстановку среди населения страны.



*Рисунок 1.*

Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферу промышленностью и транспортом РФ, тыс. т

Распространение поллютантов в атмосферном воздухе определяется процессами рассеивания, которые обусловлены многими факторами: атмосферной диффузией, географическими условиями местности, масштабами выбросов и

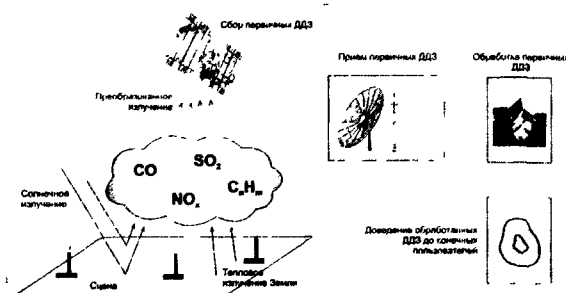
пр. В настоящей работе, в соответствии с основными положениями теории атмосферной диффузии примесей, в основу прогностического моделирования процессов загрязнения атмосферы на больших территориях положена математическая модель, имеющая вид:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + w \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} k_x \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_y \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial q}{\partial z} - \alpha q \quad (1.1)$$

где значения концентраций определяются в пространстве в трёхмерной системе координат. Здесь оси  $x$  и  $y$  расположены в горизонтальной плоскости; ось  $z$  – по вертикали;  $t$  – время;  $u, v, w$  – соответствующие средней скорости перемещения примеси соответственно по направлению осей  $x, y, z$ ;  $k_x, k_y, k_z$  – горизонтальные и вертикальные составляющие коэффициента обмена;  $\alpha$  – коэффициент, определяющий изменения концентрации за счёт превращений примеси.

В настоящее время математическое моделирование процессов загрязнения атмосферы реализуется с использованием программных решений, которые являются областью специальных исследований данной работы.

Результаты анализа современных методов дистанционного зондирования (традиционная съёмка, многозональная съёмка, ИК съёмка, радиосъёмка, спектрметрическая съёмка, лазерная съёмка) показали, что их возможности позволяют идентифицировать поллютанты в атмосферном воздухе и ранжировать их по химическому составу и концентрации в приземных слоях, одновременно на больших территориях, сопоставимых по масштабу с регионами и континентами. Универсальная схема получения ДДЗ загрязнения атмосферы представлена на рис. 2.



**Рисунок 2.** Универсальная схема получения ДДЗ загрязнения атмосферы, раскрывающая теоретические особенности спутниковой спектрметрической съёмки и коммуникационных систем

Анализ возможностей отечественных и зарубежных спутниковых средств зондирования атмосферы показал, что в настоящее время наиболее активно применяется пассивная спекрометрическая съёмка, позволяющая идентифицировать количественные характеристики более 25 атмосферных поллютантов, в числе которых CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, O<sub>3</sub>, BrO, ClO, OClO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>CO, CH<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, HCl и др. Всё более широкое применение получают лидары и спектрометры наземного базирования в виде портативных или стационарных установок, позволяющие идентифицировать количественные характеристики более 20 атмосферных поллютантов, в числе которых O<sub>3</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, NH<sub>4</sub>, PM10 и др. Возможности методов традиционной, многозональной, тепловой и радиолокационной космических съёмок, на современном уровне их технологического развития, являются ограниченно пригодными для идентификации параметров загрязнения атмосферы.

Таким образом, установлено, что среди существующих методов дистанционного зондирования загрязнения атмосферы наиболее приемлемыми с точки зрения полноты идентифицируемой информации являются методы спекрометрической и лазерной съёмок со съёмочной аппаратурой спутникового или наземного базирования. Также установлено, что коммуникационные возможности данных методов дистанционного зондирования позволяют заинтересованным лицам в течение короткого временного интервала (от нескольких часов до суток) получать обновлённую информацию о пространственно-временном распределении атмосферных поллютантов на обширных территориях, представляющих исследовательский интерес. Запрос данных дистанционного зондирования загрязнения атмосферы и их транспортировка к конечному пользователю осуществляется с применением информационных компьютерных технологий, в частности сети Интернет, когда заинтересованное лицо, параметрически обозначив территорию, группу атмосферных поллютантов и временной интервал, получает информацию в популярном формате баз данных. Вариант доступа к ДДЗ загрязнения атмосферы в системе ATMOS User Center представлен на рис.3.

Select Atmosphere constituents	Select Range of Coordinates
<input checked="" type="checkbox"/> O3 Total	Upper Left Corner lat (N/S) - lon (W/E) [ 90.0, 90.0] [ 0 5 [ 180.0, 180.0] [ 0 0
<input checked="" type="checkbox"/> Latitude	Lower Right Corner lat (N/S) - lon (W/E) [ 90.0, 90.0] [ 5 0 [ 180.0, 180.0] [ 0 5
<input checked="" type="checkbox"/> Longitude	

### Data Conversion:

Select your preferred output data format and the compression mode from the menu below

Data Format	Compression Mode
[ASCII-TABLE ▾]	[uncompressed Mode ▾]
Do It	Reset Selections

Рисунок 3.

Форма получения ДДЗ загрязнения атмосферы в системе ATMOS User Center посредством Интернет

## Глава 2. Моделирование экологических рисков, обусловленных воздействием загрязнённой атмосферы

В основу методики рискованных оценок положена интегральная зависимость вероятностного ущерба здоровью от количественного присутствия поллютанта в точках пространства; причём риск (вероятностный ущерб) отождествляется с математическим ожиданием случайной величины (характеризующей ущерб):

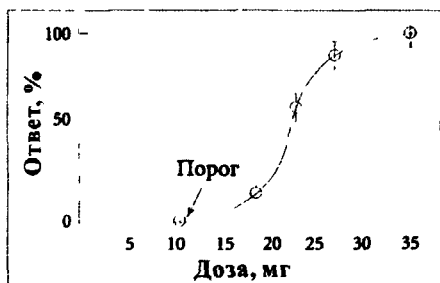
$$R = M[N] = P \iint_S \int_{\Phi_{\min}}^{\Phi_{\max}} P(\Phi) \Psi(x, y) f(x, y, \Phi) d\Phi dx dy \quad (2.1)$$

где  $P$  – вероятность реализации негативного воздействия (рассеивания поллютантов, аварии и пр.), в результате которого возникает поражающий фактор, характеризуемый параметром  $\Phi$  (например, интоксикация и пр.);  $S$  - область интегрирования (например, территория города);  $\Phi_{\min}$  и  $\Phi_{\max}$  - соответственно минимально и максимально возможное значение параметра поражающего фактора;  $P(\Phi)$  - вероятность поражения людей в зависимости от  $\Phi$  как параметра (часто задается в виде функции нормального распределения от пробит-функции параметра  $\Phi$ );  $\Psi(x, y)$  - плотность населения в пределах рассматриваемой территории;  $f(x, y, \Phi)$  - плотность распределения интенсивности параметра  $\Phi$  в пределах территории с координатами  $(x, y)$ .

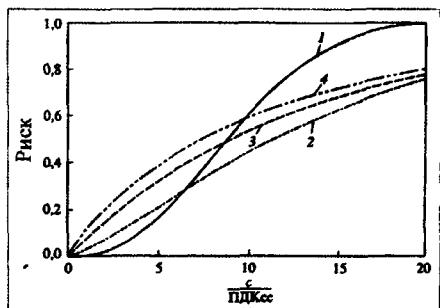
Экологический риск для здоровья, обусловленный загрязнением атмосферного воздуха техногенными выбросами – это вероятностный ущерб от реализации токсического и канцерогенного воздействия поллютантов, рассеянных в атмосфере, с учётом всех неопределённостей проявления эффектов их негативного воздействия на здоровье.

Моделирование экологического риска для здоровья, обусловленного хроническим воздействием загрязнённой атмосферы, представляет собой расчётно-аналитическую процедуру, которая включает два блока:

- 1) комплекс методик моделирования рисков здоровью, учитывающих эффект хронического ингаляционного токсического и канцерогенного действия поллютантов с применением пороговой (рис 4), безпороговой или универсальной (рис 5) моделей зависимости «концентрация-ответ»;
- 2) методику учёта неопределённостей поведения поллютантов в атмосфере.



*Рисунок 4.* Сигмоидальная зависимость «доза-ответ», описывающая воздействие на здоровье химических неканцерогенов и канцерогенов с пороговым механизмом воздействия



*Рисунок 5.* Универсальная зависимость «концентрация-ответ», описывающая воздействие на здоровье веществ различных классов опасности. Вещества: 1 – чрезвычайно опасные; 2 – высокоопасные; 3 – умеренно опасные; 4 – малоопасные

Установлено, что для моделирования рисков здоровью, обусловленных хроническим воздействием атмосферных поллютантов общетоксического порогового механизма воздействия, целесообразно использовать модель:

$$R_{\text{пнт}} = 1 \cdot 10^{-6} \cdot e^{K_i \left( \frac{C_i - \text{ПДК}_{\text{cci}}}{\text{ПДК}_{\text{cci}}} \right)} \quad (2.2)$$

или

$$R_{\text{пнт}} = 1 \cdot 10^{-6} \cdot e^{K_i \left( \frac{E_i - \text{РfD}_{\text{cci}}}{\text{РfD}_{\text{cci}}} \right)} \quad (2.3)$$

где:  $R_{\text{пнт}}$  – популяционный ингаляционный токсический (неканцерогенный) риск от хронического воздействия  $i$ -го вещества, измеряется числом пострадавших;  $C_i$  – среднесуточная в течение года концентрация  $i$ -го токсичного вещества в зоне воздействия,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $E_i$  – среднесуточная в течение года экспозиция воздействия  $i$ -го токсического вещества в зоне воздействия,  $\text{мг}/\text{кг}$  сутки (определяется расчётом);  $\text{ПДК}_{\text{cci}}$  – среднесуточная предельно допустимая концентрация  $i$ -го вещества,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $\text{РfD}_{\text{cci}}$  – среднесуточная референтная доза  $i$ -го вещества,  $\text{лет}/\text{кг}\cdot\text{сут}$ ;  $e$  – экспонента, моделирующая усреднённый показатель дополнительного риска воздействия  $i$ -го вещества в динамике возрастания его концентрации (дозы);  $K_i$  – коэффициент, учитывающий особенности динамики токсического действия  $i$ -го вещества;  $1 \cdot 10^{-6}$  – начальная координата отсчёта приемлемого показателя риска летального эффекта для любого фактора негативно-го воздействия.

Модель (2.2) и её модификация (2.3) ориентированы на получение популяционных (групповых) рисков для здоровья, размерность которых выражается в количестве пострадавших человек из миллиона. Установлено, что с помощью данных моделей возможно получать корректные значения рисков при уровне загрязнении атмосферы 1+20 ПДК. Модели (2.2) и (2.3) разработаны проф. В.Н. Буровым при участии автора.

Установлено, что для моделирования рисков здоровью, обусловленных хроническим воздействием атмосферных поллютантов канцерогенного безпорогового механизма воздействия, целесообразно использовать модель:

$$R_{\text{инк}} = \frac{C_k \cdot \text{SF}_i \cdot 20}{70} \quad (2.4)$$

где:  $R_{\text{инк}}$  – индивидуальный ингаляционный канцерогенный риск, размерность которого  $[0,0-1,0]$ ;  $C_k$  – концентрация канцерогена в зоне воздействия,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;

$SF_i$  – фактор потенциала канцерогенного эффекта при воздействии вещества через органы дыхания,  $(\text{мг/кг} \cdot \text{день})^{-1}$ , определяющийся по специальной методике;  $2\theta$  – среднесуточный объём дыхания человека,  $\text{м}^3$ ;  $70$  – средняя масса тела взрослого человека, кг. Канцерогенный риск рассчитывается на период всей жизни человека.

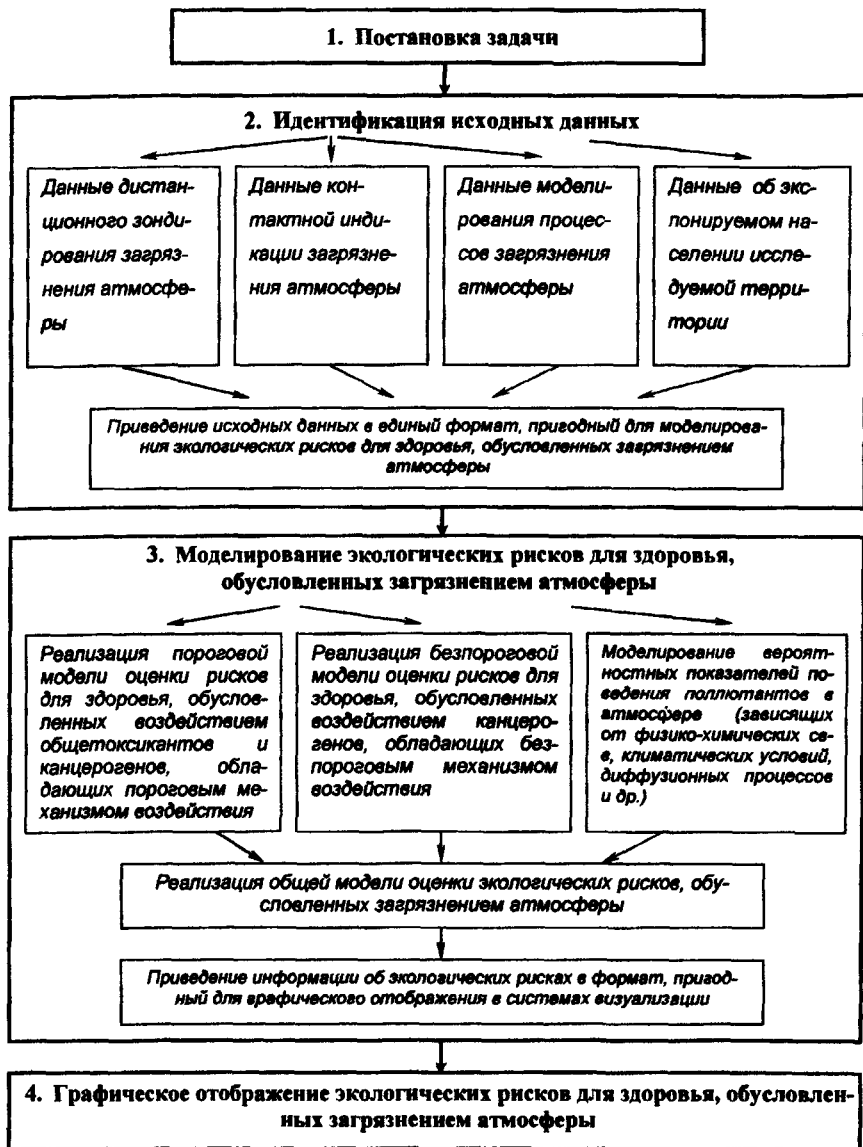
Установлено, что для моделирования рисков здоровью, обусловленных хроническим воздействием атмосферных поллютантов как порогового так и безпорогового механизма воздействия, целесообразно использовать универсальную модель:

$$R_{\text{итт}} = 1 - \exp \left[ -0,174 \left( \frac{C_i}{\text{ПДК}_{\text{сст}} \cdot K_3} \right)^\beta t \right] \quad (2.5)$$

где:  $\text{ПДК}_{\text{сст}}$  – среднесуточная предельно допустимая концентрация  $i$ -го вещества,  $\text{мг/м}^3$ ; параметры  $\beta$  и  $K_3$ , рекомендованные для расчётов при различном времени экспозиции, приведены в справочных материалах и зависят от класса опасности поллютанта; независимо от класса опасности поллютанта, при его концентрации менее ПДК,  $\beta=1,00$ .

Установлено, что данные «пороговая» (2.2), «безпороговая» (2.4) и «универсальная» (2.5) модели являются наиболее пригодными для моделирования рисков здоровью, обусловленных хроническим ингаляционным воздействием поллютантов общетоксического и канцерогенного механизмов воздействия.

Методика учёта неопределённостей поведения поллютантов в атмосфере заключается во введении в процесс моделирования экологических рисков вероятностных показателей, характеризующих степень возможности изменения физико-химических свойств поллютантов  $P_{\text{фх}}$  (физическое состояние, дисперсность, химический состав, химическая стойкость и пр.); погодных условий  $P_{\text{пог}}$  (степень вертикальной устойчивости атмосферы в приземном слое, направление и скорость ветра, температура воздуха, осадки, атмосферная влажность); параметров диффузионных процессов  $P_{\text{диф}}$  (характер и масштабы рассеивания поллютантов в различных условиях климата и рельефа) и пр.



**Рисунок 6.** Схема методик моделирования и графического отображения экологических рисков для здоровья, обусловленных загрязнением атмосферы

Исследование данных вероятностных показателей в аспекте их численного выражения и способов введения в процесс моделирования экологических рисков является областью специальных исследований настоящей работы.

Математически экологический риск для здоровья определяется как произведение риска для здоровья от воздействия загрязняющего вещества  $R_{зд\ атм}$ , выступающего как величина ущерба биологического объекта (населения) от загрязнения атмосферы, на добавочную вероятность проявления ущерба здоровью, связанную с неопределённостями поведения рассеянных веществ в атмосфере.

Графическое отображение экологических рисков, обусловленных загрязнением атмосферы, реализуется методом переноса графических построений, отражающих пространственно-временное распределение значений рисков, на картографическую основу исследуемой территории в соответствии с выбранным способом картографического отображения, мат. основой и пр.

Разработанная *методика моделирования и графического отображения экологических рисков для здоровья, обусловленных загрязнением атмосферы*, конструктивно, состоит из четырёх частей: 1) постановка задачи; 2) идентификация данных о пространственном распределении значений концентраций рассеянных поллютантов на оцениваемой территории и населении; 3) моделирование экологических рисков для здоровья, обусловленных загрязнением атмосферы; 4) графическое отображение экологических рисков для здоровья, обусловленных воздействием загрязнённой атмосферы (рис 6). Варианты практической реализации данной методики зависят от способа получения информации о пространственно-временном распределении концентрации поллютантов.

### **Глава 3. Программные решения в методике моделирования и графического отображения экологических рисков, обусловленных загрязнением атмосферы**

Моделирование процессов загрязнения атмосферы реализуется средствами специальных программ – компьютерных моделей процессов рассеивания, ре-

зультатом работы которых является получение показателей концентраций поллютантов в атмосфере в заданных точках пространства. Для работы с компьютерными моделями рассеивания необходимо располагать определённым набором исходных данных: 1) климат и рельеф, 2) геометрические параметры источников, 3) параметры выброса. Результаты анализа тематического программного обеспечения показали, что среди большого количества существующих программных продуктов наиболее предпочтительно использовать отечественные программные комплексы «Призма», «Эколог», «Zone» или зарубежный «ISC3», результаты работы которых корректны с профессиональной и юридической точек зрения.

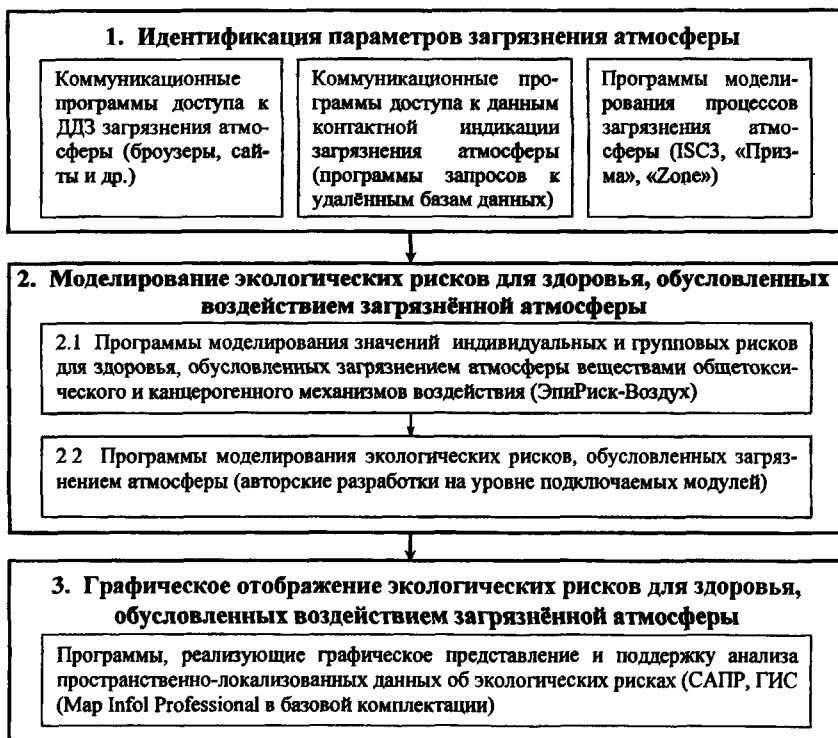
Моделирование рисков для здоровья, обусловленных воздействием загрязнённой атмосферы реализуется средствами программных продуктов, моделирующих пространственно-локализованные значения индивидуальных и групповых рисков для здоровья, обусловленных воздействием атмосферных поллютантов общетоксического и канцерогенного механизмов воздействия. Результаты анализа тематического программного обеспечения показали, что в рамках разработанной методики наиболее предпочтительно использовать разработки НИИ ЭЧ и ГОС (программы «ЭпиРиск-Воздух», «МедЭкоРиск») или зарубежный комплекс «Risk Assistant». Данные продукты моделируют значения рисков здоровью в соответствии с общепринятыми методиками.

Моделирование значений экологических рисков, представленное в работе алгоритмом механизма оценки рисков для здоровья с участием ряда неопределённостей, характеризующих поведение поллютантов в атмосфере, технически, предлагается выполнять средствами программного модуля, разработанного автором, выполненного в объектно-ориентированной среде программирования Delphi.

Установлено, что программные средства для графического отображения пространственно-локализованных значений экологических рисков могут быть представлены широким рядом САПР- и ГИС-программ. Анализ возможностей данных программ показал, предпочтительность применения популярной ГИС-

программы Map Info, располагающей наиболее полным инструментарием тематической картографии в базовой комплектации для графического отображения экологических рисков.

Разработанная технология моделирования и графического отображения экологических рисков для здоровья, обусловленных загрязнением атмосферы, заключается в последовательном применении программных продуктов для: 1) идентификации параметров загрязнения атмосферы, 2) моделирования экологических рисков от загрязнения атмосферы, 3) графического отображения экологических рисков (рис 7).



**Рисунок 7.** Схематичное представление технологии моделирования и графического отображения экологических рисков для здоровья, обусловленных загрязнением атмосферы

#### Глава 4. Практическое применение методики моделирования и графического отображения экологических рисков, обусловленных загрязнением атмосферы

Проверка практической применимости предлагаемой в работе методики моделирования и графического отображения экологических рисков, обусловленных загрязнением атмосферы, осуществлена в двух экспериментах.

В первом эксперименте было осуществлено моделирование экологических рисков, обусловленных загрязнением атмосферы выбросами предприятия (Московский мусоросжигательный завод №4) с использованием данных контактной индикации и моделирования диффузионных процессов. Данные контактной индикации относительно концентрации заданных поллютантов в выбросной трубе предприятия, при активном участии автора, были получены средствами передвижной экологической лаборатории по контролю промышленных выбросов в атмосферу при Департаменте природопользования и охраны окружающей среды г. Москвы. На основе данных контактной индикации, моделирование процессов загрязнения атмосферы осуществлялось посредством модуля «ISC3», входящего в состав универсального программного комплекса «ЭпиРиск-Воздух». В качестве приоритетных поллютантов были выбраны CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> (рис 8).

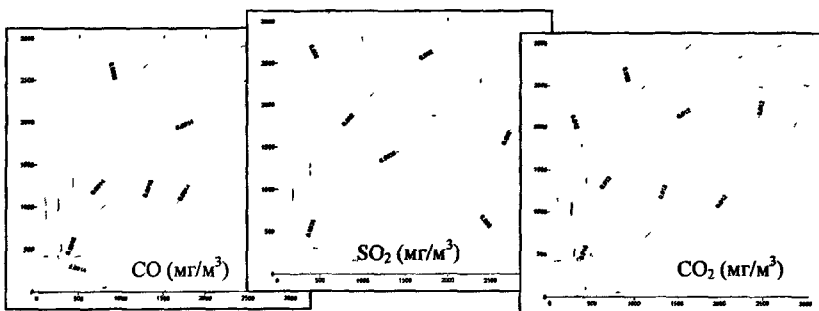
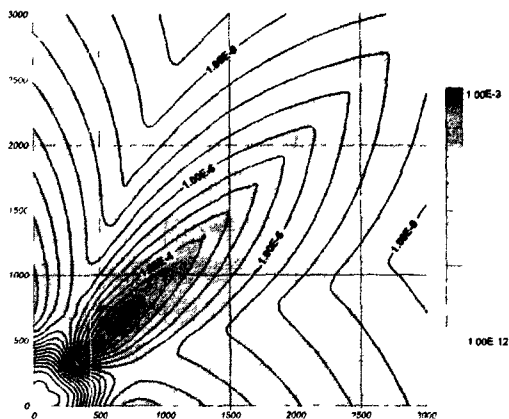


Рисунок 8. Графическое отображение в ГИС результатов моделирования процессов загрязнения атмосферы с получением показателей среднесуточных в течение 2005 года концентраций поллютантов в заданных точках исследуемого пространства

Результаты эксперимента выявили в пределах исследуемой территории, площадью 9 км<sup>2</sup> (1-я четверть в прямоугольной системе координат с нач. коорд. в т. (0;0)) пространственное распределение значений экологического риска для здоровья, обусловленного хроническим воздействием выбросов предприятия в пределах  $R_{э\text{атм}} = 1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-12}$  (рис 9).



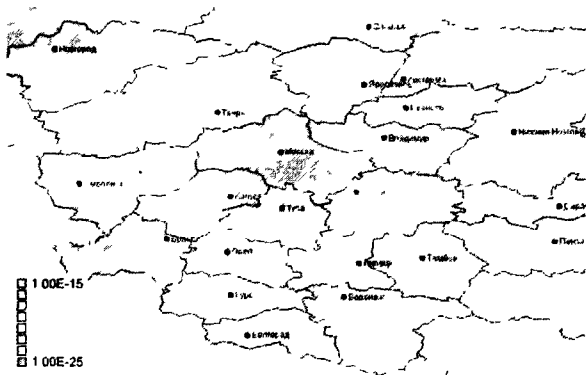
*Рисунок 9.* Графическое отображение в ГИС экологического риска для здоровья, обусловленного хроническим воздействием атмосферных выбросов исследуемого предприятия; источник загрязнения атмосферы в т. (0;0)

На основе общепринятой классификации приемлемости рисков, предложенной ВОЗ в 1998 г., риски здоровью в пределах  $1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-6}$  считаются допустимыми для населённых территорий. Таким образом, в пределах исследуемой территории, на площади 1 км<sup>2</sup> риск превышает допустимый.

Смоделированные величины рисков следует трактовать следующим образом. Так, в соответствии с рис. 9, на площади 1 км<sup>2</sup> экологический риск  $R_{э\text{атм}}$  равен  $1 \cdot 10^{-4}$ . Это означает, что эффект преждевременной смерти, обусловленный хроническими выбросами исследуемого источника загрязнения атмосферы, получит один человек из 10 000 постоянно (25 и более лет) проживающих на этой территории. Конкретное количество пострадавших из числа действительно проживающих находится по пропорции «1 к 10000 как n к N», где n - число получивших эффект преждевременной летальности, N - число жителей.

Цель второго эксперимента состояла в моделировании и графическом отображении значений экологического риска для здоровья, обусловленного воз-

действием озона в приземном слое на территории Центрально-Европейской части России. В данном эксперименте в качестве исходных данных для моделирования экологических рисков для здоровья, обусловленных хроническим загрязнением атмосферы, использовались осреднённые за 2004 г данные спутникового дистанционного зондирования загрязнения атмосферы спектрометрической системой MAS, которые были заимствованы с информационного сайта ESA, где находились в системе свободного распространения. Результаты эксперимента выявили в пределах исследуемой территории пространственное распределение значений экологического риска, обусловленного воздействием на здоровье озона в приземном слое, в пределах  $R_{\text{озон}} = 1 \cdot 10^{-15} \div 1 \cdot 10^{-25}$ , что соответствует допустимым по степени приемлемости величинам рисков для здоровья населения (рис 10).



*Рисунок 10.* Графическое отображение в ГИС экологического риска, обусловленного воздействием озона в приземном слое атмосферы

Результаты проведённых экспериментов показали универсальность предлагаемых методик и технологий и их корректность по отношению к сложившейся системе рискованных оценок.

### Заключение

В итоге выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что в условиях всё расширяющихся масштабов воздействия на окружающую среду опасных поллютантов, универсальным средством оценки последствий их воздействия являются показатели экологического риска, идентифицированные с применением методов дистанционного зондирования.

2. Разработана аналитическая модель оценки экологических рисков, обусловленных воздействием загрязнённой атмосферы, позволяющая моделировать ущерб здоровью населения от хронического воздействия поллютантов, обладающих токсическим и канцерогенным механизмами воздействия, с учётом последних достижений в области токсикологии и теории риска.
3. Разработана универсальная методика моделирования и графического отображения экологических рисков, обусловленных воздействием загрязнённой атмосферы, по данным дистанционного зондирования и с учётом коммуникационных возможностей аэрокосмических систем дистанционного зондирования.
4. Разработана технология моделирования и графического отображения экологических рисков, обусловленных воздействием загрязнённой атмосферы.
5. Проведённые экспериментальные исследования практического применения разработанной методики моделирования и графического отображения экологических рисков, обусловленных воздействием загрязнённой атмосферы, показали приемлемость данной методики для решения локальных и региональных задач по оценке последствий загрязнения атмосферы территорий поллютантами, а так же возможность применения полученных показателей для регулирования экологической обстановки в зонах повышенной загрязнённости атмосферы.

**Основное содержание диссертационного исследования автора отражено в следующих публикациях:**

**Периодические издания, рекомендованные ВАК:**

«Геоинформационное картографирование экологических рисков» / Геодезия и картография. –2005., №10. с.44-46.

**Прочие издания:**

1. «Использование обновлённого программного комплекса «Призма» для определения экологического риска». Природопользование и охрана окружающей среды Московского региона. Сб. науч. трудов студентов, аспирантов и молодых учёных / Под редакцией А.В. Садова, В.Н. Булова. М.: Издательский дом РoЗ ИКСИ, 2002. с.165-168;

2. «Картографирование экологического риска загрязнения атмосферного воздуха техногенными выбросами». Актуальные проблемы экологии и природопользования. Сб. науч. трудов студентов, аспирантов и молодых учёных / Под редакцией А.В. Садова, В.Н. Бутова. – М.: ГУЗ, 2003. с.31-33;
3. «Методологические решения графического отображения экологических рисков загрязнения атмосферы». Экология и сохранение здоровья населения. Сб. науч. трудов студентов, аспирантов и молодых учёных / Отв. ред. А.В. Садов. - М. Изд-во МИИГАиК, 2005. с.85-89;
4. «Методы дистанционного зондирования загрязнения атмосферы и их коммуникационные возможности» / Естественные и технические науки. –2005., №5. с.116-117;
5. «Методические решения графического отображения экологических рисков» / Естественные и технические науки. –2005., №5. с.114-115;

Подписано в печать 20.02.2006. Гарнитура Таймс  
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Печ. л. 1,5 Тираж 80 экз. Заказ № 16 Цена договорная

Отпечатано в УПП «Репрография» МИИГАиК  
105064, Москва, Гороховский пер., 4